

絶対音感保有者における聴覚刺激の干渉効果と脳活動

— fNIRS による脳血流量の測定に基づいて —

Brain activities of absolute pitch possessors during tasks requiring the visual
memorization of numbers with interferences of sounds:

Based on fNIRS measurement

天岩 静子 (共栄大学 教育学部)・増田 桃子 (静岡県立吉原林間学園)

Shizuko AMAIWA・Momoko MASUDA

概要

絶対音感保有者は、ある音高を他の音高を参照することなく、音楽的音高名で即座に同定することができる。音を音階名(言語)として認識できるのである。そこで、3種類の音(ドラム、ピアノ、階名の発声音)を聴きながら視覚的に現れる数字を記憶する課題を与え、脳前頭のどの部位が活性化するかを、fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy: 機能的近赤外分光分析法)を用いて測定した。前頭部位を、①中央の前頭葉+前頭前野背外側部、②右下前頭、③左下前頭に分けて検討した結果、絶対音感保有者は、非保有者に比べてピアノ音に対して敏感であり、数字の記憶課題解決の際には、ピアノ音がある場合に前頭の中央部と言語野のある左下前頭で活性化が著しく、干渉効果が認められた。絶対音感保有者は前頭の左部分で数字の記憶をする一方、ピアノ音についても同じ脳部位で処理していることが確認された。

キーワード: 絶対音感保有者、干渉課題、fNIRS、血流変化、酸素化ヘモグロビン

Abstract

Absolute pitch possessors have the ability to realize the musical pitch name immediately without comparison to other sounds. We investigated their ability to perform visual number-memorizing-tasks while simultaneously listening three kinds of stimuli—drum, piano, and a human voice announcing the musical pitch names. Using fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy), we analyzed blood flow changes on the prefrontal area of the brain. Absolute pitch possessors responded to piano sound more sensitively, and their left and middle parts of the prefrontal area were highly activated while performing number-memorizing-tasks compared with non-absolute pitch possessors. It was confirmed that absolute pitch possessors processed sounds and numbers in almost the same area of

prefrontal brain.

Keywords: absolute pitch possessor, interference task, fNIRS, blood flow change, oxyHb

1. 問題と目的

絶対音感 (absolute pitch) とは、ある音高 (音の高さ) を他の音高との比較なしに、音楽的音高名を即座に示すことができる感覚を指す (梅本, 1966)。音高には、トーン・クロマ (tone chroma) とトーン・ハイト (tone height) の 2 次元があり、トーン・クロマは音名に対応した特有な響き (C らしさ、A らしさ等の感覚) を、トーン・ハイトは周波数に対応して連続的・直線的に変化する上下方向の音の高さを示す。絶対音感保有者は、この 2 次元をあわせ持つことによって音高の判断が可能になる。この絶対音感の習得は低年齢から開始すればするほど可能性が高くなることが知られている。絶対音感の習得過程を研究した榊原 (2004) の研究によれば、2 歳から習得訓練を開始した幼児は早い段階でトーン・クロマに着目してトーン・クロマを重視するのに対し、5 歳から開始した幼児はトーン・クロマを用いることが少なく、一貫してトーン・ハイトに依存した聴取傾向を示したことから、加齢に伴ったトーン・クロマへの依存の減少が、絶対音感習得を妨げると考えられる。

このような絶対音感の獲得は、歴史的にも音楽的能力の 1 つの要素とみなされており、各種の音楽能力テストの項目に含まれていることが多い。この能力のメリットは、第一に聴音が容易なことである。音楽を聴いて楽譜を起す作業が能率的にでき、ピアノなどの楽器がなくても作曲が可能である。第二に、初見視唱が容易である。ほとんど楽譜を読むという努力なしに、初見で歌うことができる。現代音楽のように複雑で調性のはっきりしない音楽の理解や演奏にはプラスに働くと思われるが、マイナスの面も指摘されている。音楽の認知には、絶対音感と共に相対音感も必要である。音楽では、音と音の間の音程関係や調性の中での音高把握ができることの方が本質的に重要であるが、絶対音感保有者は音の相対的關係の把握に問題のあることが報告されている。例えば、宮崎・石井・大串 (1994) の研究では、絶対音感保有者と非保有者を用いて、楽譜に視覚的に記されているメロディと同時に聞こえてくるメロディが相対的に同じかどうかを判断させる実験を行った。反応時間は、視覚刺激と聴覚刺激の音高が異なる場合の方が遅かったが、絶対音感保有者と非保有者のデータ間に有意差はなかったものの、同じかどうかを判断する方略には相違があった。非保有者はほとんどが相対的に音をとらえて判断していたが、絶対音感保有者は楽譜の情報を自分なりに置き換えて判断する者が多かった。このように、相対的に音高を聞き取るべき状況 (移調など) において、絶対音感に縛られてしまうことは問題に

なり得る。

では、絶対音感保有者と非保有者で、音刺激に対する脳活動に違いはあるのだろうか。近年、脳機能の測定方法が大きく進歩し、これに伴いさまざまな研究が行われてきた。脳に関する研究においてよく利用される装置に、PET (Positron Emission Tomography: 陽電子放出断層撮影法)、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 機能的磁気共鳴描画法)、fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy: 機能的近赤外分光分析法) がある。PET は放射性同位元素を投与し、放射性同位元素がどこに分布しているかを計測することによって脳の血流量や糖代謝量を測定し、間接的に脳のどの部分に活動が見られるかを知ることができる方法である。血流の変化のみならず神経活動に伴う代謝を測定できるという長所があるものの、放射性同位元素による被爆の危険性や、時間に伴う活動の変化を測定することはできないという短所がある。fMRI は、電磁波によって脳内の血流の変化を測定するものである。通常の MRI によって解剖学的な構造も同時に画像化できるため、活動部位を正確に特定することができるという長所があり、脳機能イメージングでは、fMRI を使った研究が盛んに行われている (佐藤・牧, 2005)。

fNIRS は、fMRI と同じように脳内の血流を測定できるものであるが、fMRI が電磁波を用いて血流を測定するのに対して、fNIRS では、頭皮上から照射した近赤外光を使って大脳表面付近の血行動態変化を測定する。近赤外光とは可視領域と赤外領域の間の、通常 700 ~ 3000nm の波長の光を指す。可視光に比べて生体組織による散乱が少なく吸収減衰も少ないため、良好な透過性を示す。動脈血のヘモグロビンと静脈血のヘモグロビンは光の吸収係数が異なる。そこで fNIRS では、送光ファイバから照射した光が受光ファイバでどれだけ検出されるかによって、送光ファイバと受光ファイバ間にある血液の oxyHb (酸素化ヘモグロビン) と deoxyHb (脱酸素化ヘモグロビン) の量を知ることができる。fNIRS は、空間分解能が低いので部位の特定が難しく、脳表だけの測定になるために深部の測定が不可能であるという短所はあるが、データを 100 ミリ秒ごとに取り出すことが可能であり時間分解能に優れていること、頭に装着したホルダーにファイバを取り付けるのみで計測が可能であること、近赤外光を照射するだけなので安全であること、装置がコンパクトで移動可能であること、動きの制限が少ないため動きを伴う課題が可能であること、装置からの騒音がないため聴覚刺激を用いた課題を実施することが可能であることなどの長所がある (渡邊, 2005)。

近年、これらの測定装置を用いて各種の刺激及び認知機能に対する脳活性化の部位や程度を調べる研究が行われるようになってきた。音刺激に関する研究では、言語刺激を聴取する場合は大脳の左半球の活動が大きく、非言語刺激 (楽音と和音) では右半球の活動が大きいことが報告されている (Mazziotta, Phelps, Carson, and Kuhl, 1981)。楽器経験者と非経験者で、楽曲聴取時の脳の血流量を fNIRS で測定した結果、経験者群は右側頭葉

で oxyHb 値が増加したという報告もある。これは、楽器経験者は音色や和音に注目して聞いていたためと考えられる（藤村・近江, 2007）。

また、絶対音感保有者を対象とした研究では、大西ら（2002）が、fMRI によって絶対音感能力と脳活動の関係を調べた結果、絶対音感能力が高いほど、左側頭平面と左背外側前頭前野の活動が高いことが示された。左側頭平面は言語理解に関係する部位であり、左背外側前頭前野は条件づけ学習に重要な役割を果たす領域であるとされている。このことから、絶対音感は周波数依存の聴覚情報に対して言語ラベルを与える能力であり、その取得は「条件づけ学習」を通じて行われている可能性を示している。Zatorre, Perry, Beckett, Westbury, and Evans（1998）によると、PET を用いた測定の結果、絶対音感保有者に対して音列のピッチ変化を判断させたところ、絶対音感保有者は左前頭前野背外側部での活動が見られたが、非保有者では見られなかった。絶対音感については様々な研究が行われてきたが、絶対音感の認知的側面についての研究はまだ少ないと言える（宮崎, 2004）。

一般に、視覚的に提示される刺激リストの直後再生は、無関連聴覚刺激が同時に提示されると干渉を受けることが知られている（無関連音効果：irrelevant sound effect）。文字や数字などのリストを視覚的に与え、それを記憶する際に聴覚刺激が示されると、直後の記憶再生の成績が低下するのである。宮崎（2002）は、絶対音感保有者と非保有者を対象に、視覚的に提示される音高シラブルや数の記憶再生に対する聴覚刺激の影響を調べる実験を行った。無関連音がピアノ音の場合には、非保有者ではあまり妨害効果が見られないのに対して、絶対音感保有者では顕著な妨害効果が見られ、再生課題が音高シラブル音声の場合も数字の場合も、同程度に再生成績が低下した。この結果は、絶対音感保有者では音高刺激から音高名を言語的に符号化する過程が自動化していて、これが音声貯蔵の働きに妨害を生じる場合があることを示している。

そこで本研究では、宮崎（2002）の実験をもとに、絶対音感保有者及び非保有者に対して視覚的な数字記憶（再生）課題と聴覚刺激を同時に与え、数字記憶課題を解く際に、絶対音感保有者にみられる聴覚刺激の干渉効果の特徴を、前頭部分の活性化状態の把握によって明らかにすることを目的とする。脳の活性化部位やその程度は、fNIRS（島津製作所製 FOIRE OMM-3000）を用いて測定する。以下の仮説について検討していく。

仮説1 視覚的に示される数字を記憶・再生する順唱の際に、ピアノの音が聞こえてくると、絶対音感保有者は非保有者よりも、特にブローカ野と前頭前野において活性化が生じる。

仮説2 順唱の際、ピアノの音が聞こえた場合と階名シラブルが聞こえた場合を比較すると、非保有者では階名シラブルに対して前頭前野とブローカ野が活性化するが、絶対音感保有者では差がない。

2. 方法

2.1 絶対音感保有者と非保有者の選定

実験協力者を絶対音感保有者群（AP 群）、非保有者群（Non-AP 群）に分けるために、聴音テストを実施した。一般的に、絶対音感の有無を調べる方法には 3 種類ある。①任意の音を鳴らして、それが何の音であるかを言わせたり、楽譜で書かせたりする方法、②音名で答えるのではなく、提示されたものと同じ音を別の楽器によって弾かせる方法、③聴いて答えるのではなく、ドの音とかラの音のように指定して、それを発声させる方法である（梅本, 1999）。本研究では、実施されることが多い①の方法を採用した。テスト課題は、3 オクターブ（C2～B5）内の 10 音で、各音を 2 回ずつ鳴らして、カタカナと記号を使って回答を求めた。全部で 10 問あり、1 問 1 点として点数をつけた。

実験協力者は教育学部学生と同大学院生 29 名（男性 3 名、女性 26 名）で、平均年齢は 21.6 歳、全員右利きであった。採点の結果、平均 5.69、標準偏差 3.74 となり、分布は図 1 のようになった。そこで、8 点以上を AP 群（12 人、男性 1 名、女性 11 名）、3 点以下を Non-AP 群（12 人、男性 1 名、女性 11 名）とした。AP 群では、全員が 13 年以上のピアノ経験を持っていた。Non-AP 群にも、ピアノを 8 年以上続けている者が 4 名含まれていた。

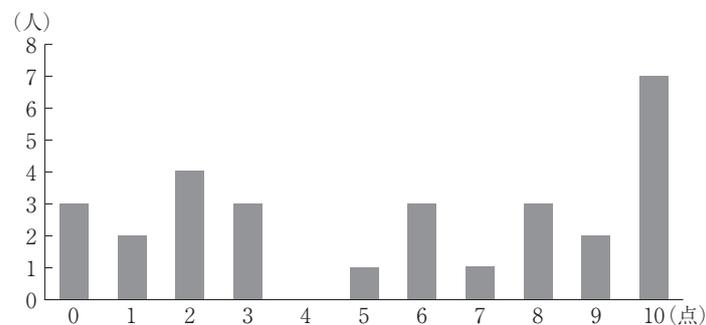


図 1 聴音テストの結果

2.2 実験方法

2.2.1 fNIRS の装着・測定方法

前頭葉から側頭葉にかけての活動を調べるために前頭用ホルダーを使い、送光のファイバを 14 本、受光のファイバを 13 本配置し、全部で 42 チャンネルを測定した。チャンネルの配置は図 2 に示す通りである。実験は暗幕の張られた個室で行った。プローブを装着し、血流の波形が安定するまでは画面上に出ている「・」を何も考えずにボーっと見てもらい、安定したところで課題を始めた。刺激提示前後のレスト時には画面に現れた「+」を見ながら 1 から 10 までの数字を繰り返し言うように指示した。

2.2.2 聴覚刺激

聴覚刺激は、無音、ドラム音、ピアノ音（C4～B4）、階名の発声音の 4 条件とし、ドラム、ピアノの音源は MIDI 作成フリーソフト **Cherry** を用いて制作し、ピアノ音は中央音域（C4～B4）のハ長調音階の中からランダムに配置し、曲として聞こえないように音階を配置した。階名は特定の音程ではなく、女性の声で発声したものを録音して使用した。この課題はパワーポイント 2007 を用いて時間制御したものを提示した。

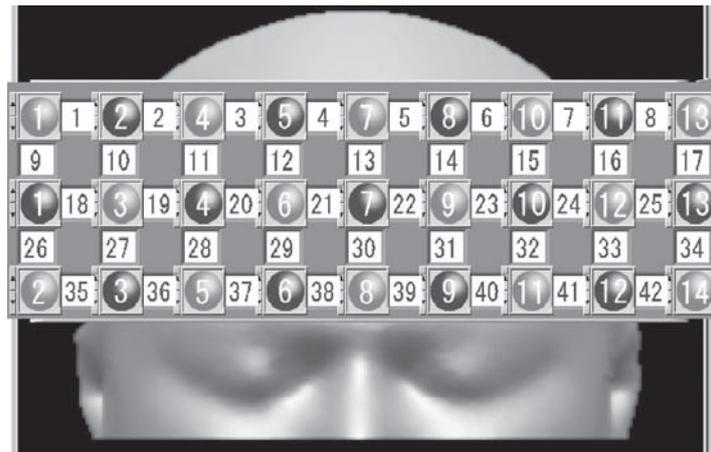


図 2 チャンネルの配置図

2.2.3 視覚刺激（数字順唱課題）

実験協力者に、1 秒間に 1 文字のペースでパソコン画面上に出てくる 9 つの数字を暗記し、直後に「○」が表示されたら覚えた数字を再生するように依頼した。

2.2.4 実施方法

図 3 に示すように、課題提示の前後には各 20 秒間のレストを設けた。課題提示の際には、数字が出てくるのと同時に聴覚刺激が聞こえるようにした。4 条件の聴覚刺激は、無音、ドラム音、ピアノ音（C4～B4）、階名の順で実施した。1 条件につき 3 試行ずつ行った。図 4 にピアノ音条件で用いた音階例を示す。なお、音が聞こえる条件の前には、実験協力者に音が一緒に流れてくることを伝え、なるべく数字に集中するように指示した。

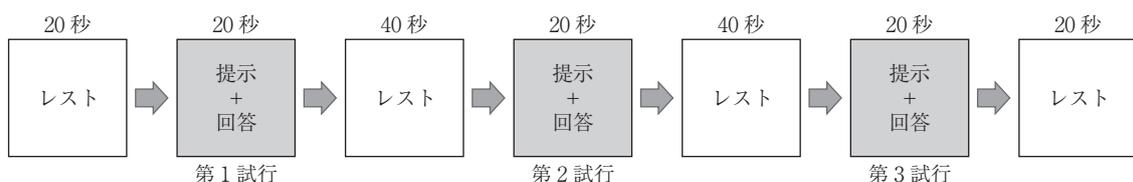


図 3 レストと課題提示の流れ



図4 ピアノ音条件の音階の一例

3. 結果

3.1 チャンネルの割当て

計測部を①前頭極+前頭前野背外側部、②右下前頭、③左下前頭の3つに区切り、それぞれのチャンネルを各部位ごとに振り分けた。前頭極+前頭前野背外側部は、ch3～6、12～14、20～23、29～31、37～40、右下前頭はch1、2、9～11、18～19、26～28、35～36、左下前頭はch7～8、15～17、24～25、32～34、41～42であった。fNIRSは空間分解能が低く部位の特定がしにくいため、前頭極と前頭前野背外側部は分けて分析した。この部位は、集中やワーキングメモリーに関連すると言われている。また、左下前頭には運動性言語中枢とも呼ばれるブローカ野が含まれている（渡邊，2005）。チャンネル毎の分析も行ったが、紙面の都合上、今回の報告では省略する。

3.2 分析に用いたfNIRS測定値

fNIRSでは3種類の測定値（oxyHb値、deoxyHb値、両者の総和であるtotalHb値）が得られるが、本研究ではoxyHb値のみを分析の対象とした。oxyHbの変化は局所脳血流（regional cerebral blood flow）の変化と高い相関を示しており（Hoshi, et al., 2001）、神経活動には大量の酸素が必要であるため、それを運ぶoxyHb値の増加がその部位の神経活動の増加を反映すると考えられるためである。データとして、刺激提示の10秒間と、その直前のレスト20秒間のoxyHb値の加算平均を取り、刺激提示の平均値から前レストの平均値を引いたものを、その課題における活性化量とした。

3.3 順唱課題の正答数

順唱課題の正答数について両群の条件別に平均値を算出したところ、干渉効果が見られなかった。無音条件、ドラム条件、ピアノ条件、階名条件の順にNon-AP群の平均値は4.55点、5.15点、5.15点、5.30点であり、AP群の平均値は5.42点、6.14点、5.61点、5.19点であった。個人でのばらつきも大きく、多くの実験協力者で学習効果が見られたため、分析の対象とはしなかった。

3.4 AP 群、Non-AP 群内の反応傾向の比較

聴音テストの結果に基づいて、8 点以上を絶対音感保有者、3 点以下を非保有者としたが、AP 群、Non-AP 群ともに聴音テストの成績にばらつきがあった（図 1 参照）。そこで、まず、これらの調査協力者をそれぞれ同一の群とみなすことが妥当であるかどうかを検討するために、AP 群では 10 点と 9 点以下の者、Non-AP 群では 3 点と 2 点以下の者を分けて比較検討することにした。

3.4.1 AP 群内の比較

各部位ごとに 2 要因分散分析を行った。絶対音感の程度は 10 点群と 9 点以下群の 2 水準、順唱における条件は、ドラム、ピアノ、階名、無音の 4 水準であった。

①前頭極 + 前頭前野背外側部

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 477) = 10.33, p < .01$)。2 つの要因の単純主効果を分析したところ、ピアノ音条件における絶対音感レベルの単純主効果 ($F(1, 159) = 31.52, p < .01$)、階名条件 ($F(1, 159) = 14.93, p < .01$) が有意であった。そして、10 点群 ($F(3, 477) = 8.62, p < .01$) と 9 点以下群 ($F(3, 477) = 9.75, p < .01$) における順唱条件の単純主効果が有意となった。また、10 点群と 9 点以下群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、10 点群ではピアノはその他の条件よりも有意に高かった。9 点以下群ではドラム条件はピアノ音条件と階名条件よりも有意に高く、階名条件はピアノ音条件と無音条件よりも有意に低かった ($MSe = 0.0012, p < .05$)。

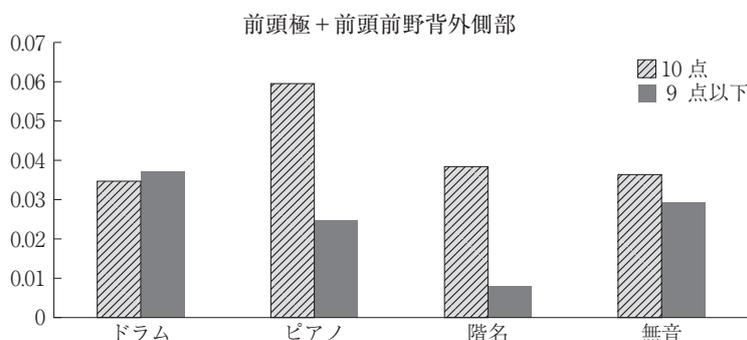


図 5 前頭極 + 前頭前野背外側部における各条件の平均値

②右下前頭

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 318) = 5.05, p < .01$)。2 つの要因の単純主効果を分析したところ、階名条件が有意であった ($F(1, 106) = 18.41, p < .01$)。そして、10 点群 ($F(3, 318) = 6.75, p < .01$) と 9 点以下群 ($F(3, 318) = 10.08, p < .01$) における順唱条件の単純主効果が有意となった。また、10 点群と 9 点以下群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、10 点群では無音がその他の条件よりも有意に低

かった。9点以下群ではピアノ音条件はドラム条件よりも有意に高く、階名条件と無音条件はその2条件よりも有意に低かった ($MSe = 0.0022$, $p < .05$)。

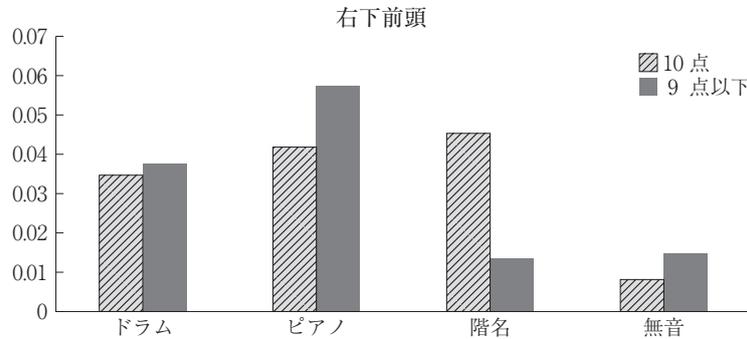


図6 右下前頭における各条件の平均値

③左下前頭

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 318) = 11.83$, $p < .01$)。2つの要因の単純主効果を分析したところ、階名条件 ($F(1, 106) = 38.34$, $p < .01$)、無音条件 ($F(1, 106) = 4.32$, $p < .05$) が有意であった。そして、10点群 ($F(3, 318) = 14.98$, $p < .01$) と9点以下群 ($F(3, 318) = 9.64$, $p < .01$) における順唱条件の単純主効果が有意となった。また、10点群と9点以下群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、10点群ではピアノ音条件はドラム条件と無音条件よりも有意に高く、ドラム条件と階名条件は無音条件よりも有意に高かった。9点以下群ではドラム条件は階名条件と無音条件よりも有意に高く、ピアノ音条件と無音条件は階名条件よりも有意に高かった ($MSe = 0.0018$, $p < .05$)。

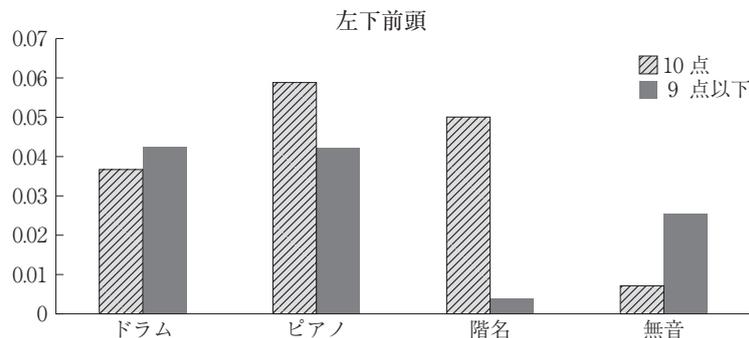


図7 左下前頭における各条件の平均値

以上の分析結果から、10点群と9点以下群をまとめてAP群とするのは妥当ではないと判断した。従って、AP群は10点の者のみとし、さらに個別のデータを見比べて、全

での課題において活性化量にマイナス値が多い者、活性化の度合いが他の実験協力者と比べて外れている者を除き、最終的に 4 名を AP 群と定めた。

3.4.2 Non-AP 群内の比較

2 点以下の実験協力者では音楽経験のない者が目立つが、3 点の実験協力者は何かしら経験がある者で構成されている。また、たまたま聴音テストの答が当たったとみならずには 3 点は疑問が残る。そこで、2 点以下群と 3 点群に分けて、脳の部位ごとに条件別の平均値を示したものが下の図 8～10 である。

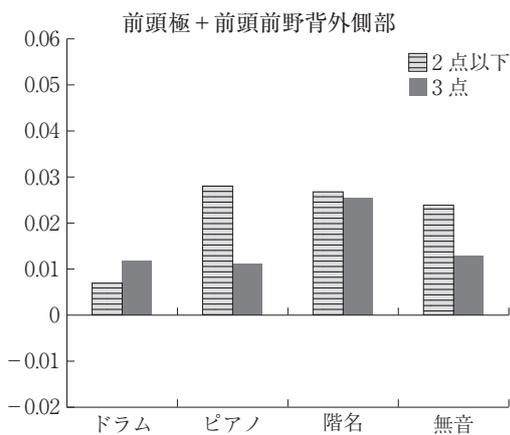


図 8 前頭中央部における各条件の平均値

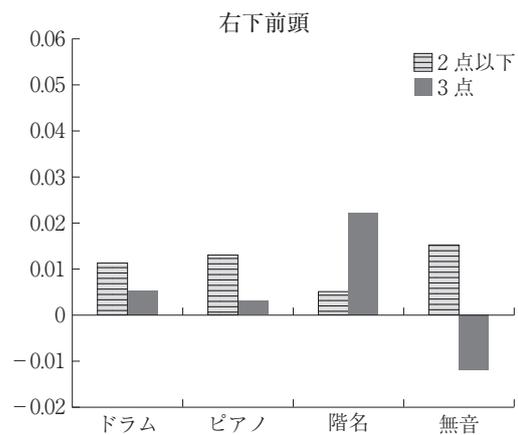


図 9 右下前頭における各条件の平均値

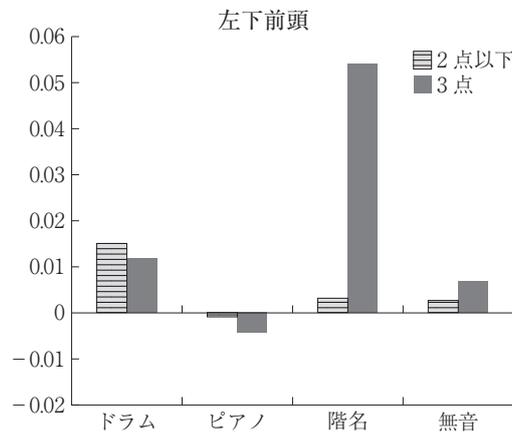


図 10 左下前頭における各条件の平均値

両群の平均値を比較すると差があるように見える。しかし、多くのチャンネルで活性化量がマイナスの値を示したデータを削除したところ、0 点が 1 人、2 点が 3 人、3 点が 2 人となった。人数が少ないことに加えて個別のデータを見ても個人差が大きいことから、Non-AP 群は 3 点以下の実験協力者 6 名で分析することにした。

3.5 AP 群及び Non-AP 群における脳活性化量の比較

新しく選んだ AP 群 4 名と Non-AP 群 6 名のデータを用いて、仮説 1 と 2 を検証するために各部位ごとに 2 要因分散分析を行った。絶対音感の有無は Non-AP 群、AP 群の 2 水準、順唱の条件は、ドラム、ピアノ、階名、無音の 4 水準であった。図 11 ~ 13 は両群の各条件の平均値を部位ごとに示したものである。

①前頭極 + 前頭前野背外側部

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 525) = 3.95, p < .05$)。2 つの要因の単純主効果を分析したところ、ドラム音条件 ($F(1, 175) = 43.78, p < .01$)、ピアノ音条件 ($F(1, 175) = 28.67, p < .01$)、無音条件 ($F(1, 175) = 6.16, p < .05$) における絶対音感の有無の単純主効果が有意であった。そして、Non-AP 群 ($F(3, 525) = 3.86, p < .05$) と AP 群 ($F(3, 525) = 8.43, p < .01$) における順唱条件の単純主効果が有意となった。また、Non-AP 群と AP 群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、Non-AP 群ではドラム音条件はその他の条件よりも有意に低く、AP 群ではピアノ音条件がその他の条件よりも有意に高かった ($MSe = 0.0013, p < .05$)。

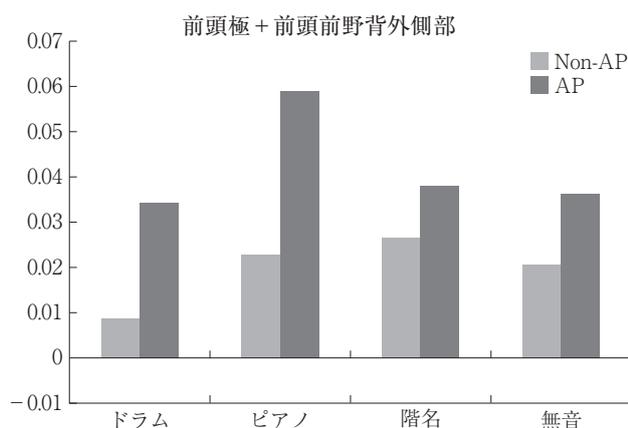


図 11 前頭極 + 前頭前野背外側部における各条件の平均値

②右下前頭

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 345) = 5.70, p < .01$)。2 つの要因の単純主効果を分析したところ、ドラム音条件 ($F(1, 115) = 25.79, p < .01$)、ピアノ音条件 ($F(1, 115) = 13.62, p < .01$)、階名条件 ($F(1, 115) = 28.71, p < .01$) における絶対音感の有無の単純主効果が有意であった。そして AP 群における順唱条件の単純主効果が有意となった ($F(3, 345) = 14.13, p < .01$)。また、AP 群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、無音条件がその他の条件よりも有意に低かった ($MSe = 0.0011, p < .05$)。

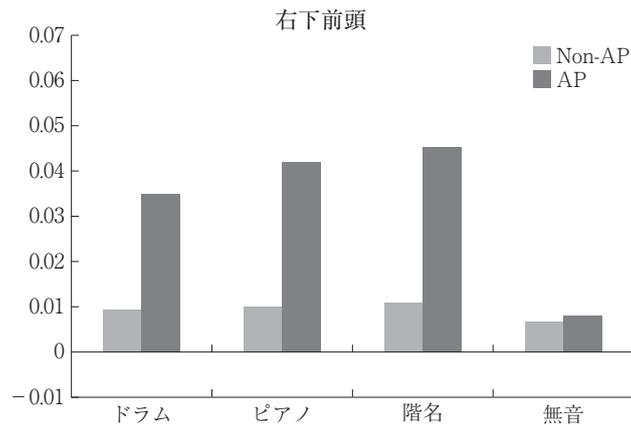


図 12 右下前頭における各条件の平均値

③左下前頭

分析の結果、交互作用が有意であった ($F(3, 354) = 9.22, p < .01$)。2つの要因の単純主効果を分析したところ、ドラム音条件 ($F(1, 118) = 12.76, p < .01$)、ピアノ音条件 ($F(1, 118) = 36.78, p < .01$)、階名条件 ($F(1, 118) = 10.33, p < .01$) における絶対音感の有無の単純主効果が有意であった。Non-AP 群 ($F(3, 354) = 3.09, p < .05$) と AP 群 ($F(3, 354) = 16.25, p < .01$) における順唱条件の単純主効果が有意となった。また、Non-AP 群と AP 群における順唱条件の単純主効果を多重比較した結果、Non-AP 群では階名条件はピアノ音条件と無音条件よりも有意に高く、ドラム音条件はピアノ音条件よりも有意に高かった。ドラム音条件と無音条件、ピアノ音条件には有意な差はなく、ピアノ音条件と無音条件にも有意な差はなかった。また、AP 群では無音条件がその他の条件よりも有意に低く、ピアノ音条件はドラム音条件よりも有意に高かった ($MSe = 0.0011, p < .05$)。

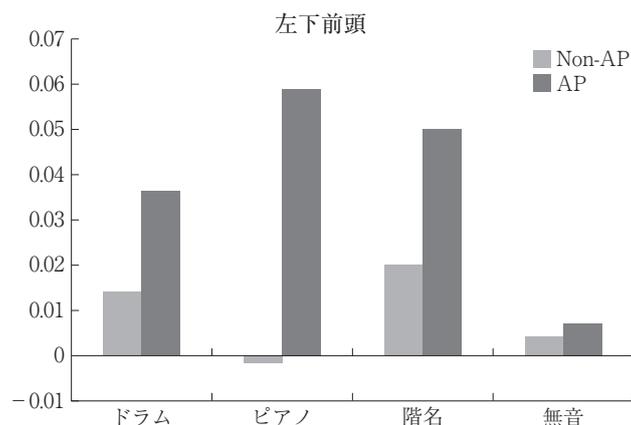


図 13 左下前頭における各条件の平均値

4. 考察

本研究の目的は、絶対音感保有者及び非保有者に対して視覚的な数字記憶（再生）課題と聴覚刺激を同時に与え、数字記憶課題を解く際に、絶対音感保有者にみられる聴覚刺激の干渉効果の特徴を、前頭部分の活性化状態の把握によって明らかにすることであった。2 要因分散分析の結果、ピアノ音条件において、全ての部位で AP 群は Non-AP 群よりも活性化の程度が有意に高く、仮説 1 は支持された。仮説 2 については、Non-AP 群の前頭部位では差がなかったが、左下前頭ではピアノ音条件よりも階名条件の方が有意に高く、AP 群の前頭部位ではピアノ音条件と階名条件の間に有意な差があったが、左下前頭では有意な差はなく、仮説は一部支持された。

聴覚刺激（4 条件）の中で、両群の違いが明確になったのはピアノ音条件であった。AP 群ではピアノの音高を言語化しているために、活性化量が増大したと考えられる。3 部位すべてにおいて AP 群の方が Non-AP 群よりも活性化の程度が高かったが、特に左下前頭に注目したい。Non-AP 群は 4 条件の中でもピアノ音条件の活性化量が一番低かったが、AP 群では最も高かった。左下前頭には運動性言語中枢とも呼ばれるブローカ野が含まれている（渡邊，2005）。この部位において、AP 群にみられるピアノ音条件の活性化の高さは、順唱課題を解く際にピアノ音による干渉があったためと考えられる。実験終了後に記憶方略について尋ねたところ、ほとんどの絶対音感保有者がピアノ音を言語的に記憶する方略を取っていた。覚えようとする数字を「言語」にして記憶しているところに、ピアノの音が「言語」として聞こえてきたことで、干渉が生じたと考えられる。

また、ピアノ音条件における Non-AP 群の左右の下前頭を比べてみると、非言語刺激に対する活動が現れるという右側部が活性化していることが分かる。AP 群では左右共に活性化していることから、この点にも大きな違いがあると言える。

前頭極は複雑な課題において活性化することが知られており、前頭前野背外側部はワーキングメモリー課題に関係した非侵襲的研究において、ほとんどの場合活性化が見られている（渡邊，2005）。前頭前野を見ると、AP 群では最も活性化すると思われた階名よりもピアノ音の方が活性化の程度が高かった。ピアノ音を認知処理するにあたって、自動的にとはいえ音を変換するという過程があるため、その分負荷が大きくなったのかもしれない。

次に、群ごとに聴覚刺激（4 条件）での違いに注目する。左右の下前頭で 4 条件を見ると、AP 群は無音条件に比べて聴覚刺激のあるいずれの条件でも、より活性化していることが分かる。これは、AP 群が Non-AP 群よりも聴覚刺激に対して敏感であることを示すと思われる。集中が必要な課題の時に音が聞こえてくると、AP 群の方が影響を受けてしまうということであろう。また、AP 群は左右の下前頭において、無音条件以外の 3 条件

では同じように活性化している。AP群は脳の左右両方を使って課題を処理していたことが推測できる。

本研究では、順唱課題の正答数において干渉効果が見られなかった。宮崎（2002）では数字の提示が2文字/秒であったのに対して、本実験では1文字/秒としたことの影響と思われる。課題を制御することが難しかったため提示速度を遅くして実験を行ったのだが、その分先行研究よりも干渉が抑えられた可能性がある。比較のためには、先行研究と同じ速度での課題提示で検討する必要があるだろう。

また、今回分析に用いたデータはAP群4名、Non-AP群6名であり、十分な数であったとは言えない。聴音テストの段階で純粋な絶対音感保有者のみを選別し、実験協力者の数をもっと増やす必要がある。絶対音感の認知に関する研究にはまだまだ余地がある。今回は前頭部分での測定であったが、側頭部分まで範囲を広げて検討していくことで、新たな発見があるかもしれない。

5. 文献

- 藤村昌央・近江政雄, 楽器経験の有無による音楽的要素の知覚時における脳活動の違い, 社会法人電子情報通信学会技術研究報告, HIP ヒューマン情報処理, 107 (332), 2007, 143-147,
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., and Tamura, M., Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: A study with a newly developed perfused rat brain model, *Journal of Applied Physiology*, 90, 2001, 1657-1662
- 河井信行・畠山哲宗・黒田泰弘・河北賢哉・西山佳宏・田宮隆・長尾省吾, 脳神経救急医学におけるPET検査の役割, 脳神経外科ジャーナル, 16 (10), 2007, 783-791
- Mazziotta, J. C., Phelps, M. E., Carson, R.E. and Kuhl, D.E., Tomographic mapping of human cerebral metabolism: Visual stimulation and deprivation, *Neurology*, 31, 1981, 517-529
- 宮崎謙一・石井玲子・大串健吾, 絶対音感を持つ音楽専攻学生によるメロディの認知, 日本音響学会誌, 50 (10), 1994, 780-788
- 宮崎謙一, 音高刺激と音声刺激による短期記憶干渉効果(無関連音効果), 電子情報通信学会技術研究報告, HIP ヒューマン情報処理, 102 (533), 2002, 7-12
- 宮崎謙一, 「絶対音感」はどこまでわかったか?, 日本音響学会誌, 60 (11), 2004, 682-688
- 大西 隆・平形真希子・松田博史, 音楽学習のfMRI, 脳の科学, 24, 2002, 933-940
- Peretz, I., & Hyde, K.L., What is specific to music processing?: Insight from congenital amusia, *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7 (8), 2003, 362-367
- 榊原彩子, なぜ絶対音感は幼少期にしか習得できないのか? —訓練開始年齢が絶対音感習得過程に及ぼす影響—, 教育心理学研究, 52, 2004, 485-496
- 佐藤大樹・牧 敦, 光による脳機能イメージング: 光トポグラフィ, 認知科学, 12 (3), 2005, 296-307
- 梅本堯夫, 音楽心理学, 誠信書房, 1966
- 梅本堯夫, 子どもと音楽(シリーズ人間の発達II), 東京大学出版会, 1999

渡邊正孝, 思考と脳 考える脳の仕組み, 久保田競・酒田英夫・松村道一(編), サイエンス社, 2005

Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F. and Evans, A. C., Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch, *Neurology*, 95, 1998, 3172-3177